

#### 4.1.5 水路トンネルのリニューアル事例<sup>9)、10)</sup>

##### (1) 補強・拡幅事例

##### 1) 水路トンネル変状箇所の補強<sup>9)</sup>

東京電力鬼怒川発電所旧水路トンネルは、1912年に築造されたもので、一部区間でトンネル軸方向に幅3～5mmの縦断クラックが連続するなどの顕著な変状が確認され、早期の補強対策が必要となった。ポリプロピレン繊維補強コンクリートを採用した内巻工により補強を行った。表-4.1.11に発電所の概要、図-4.1.12、表-4.1.12に変状の状況、原因を示す。

表-4.1.11 鬼怒川発電所の概要

		旧	増設
企業者		東京電力(株)	
運転開始		1912年12月	1963年11月
諸発電	最大出力	37,500kW	127,000kW
	使用水量	13.0m <sup>3</sup> /s	45.0m <sup>3</sup> /s
	有効落差	93.5m	330.4m
施設	水路	約16,000m	—
	水圧管路	—	—
	発電所	—	—

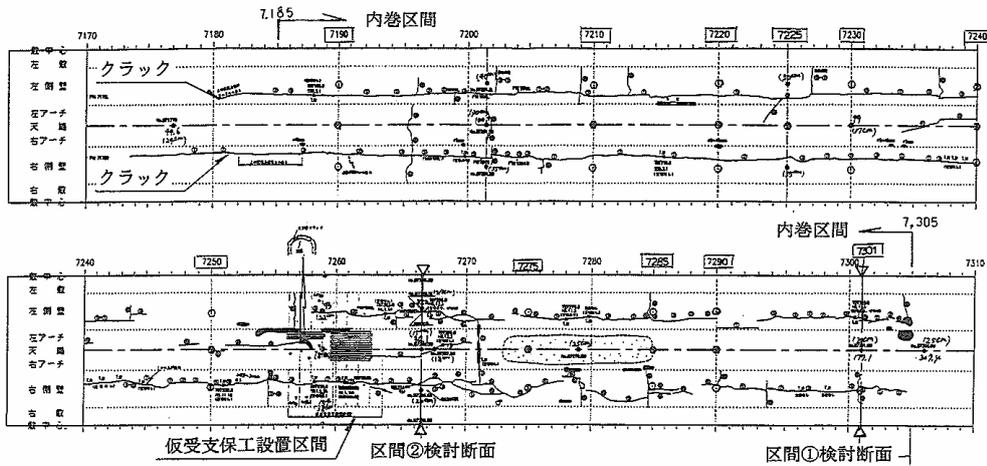


図-3 変状箇所トンネル展開図(TD7,170~TD7,310)

図-4.1.12 変状区間トンネル展開図

表-4.1.12 旧トンネルの変状の状況および原因

ゾーン	① TD7、170m～7,229m TD7、286m～7,305m	② TD7、230m～7,285m 区間
地質	<ul style="list-style-type: none"> <li>変状が著しい当該箇所は凝灰角礫岩が主体で、一部に安山岩が貫入。流紋岩が、凝灰角礫岩に薄く挟まれて分布している。</li> <li>TD7、240m 付近から下流側には熱水変質を受けた礫質土状を呈する著しく劣化した変質帯が厚く分布している。</li> </ul>	
変状状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>両側壁中央部に幅3～5mmの縦断クラックが発生。</li> <li>一部に進行性のあるクラック。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>両側壁中央～肩にかけて幅3～5mmの縦断クラック発生。規模は左欄に比べ大</li> <li>天端にクラック発生</li> <li>覆工コンクリート表面剥離、あばた存在</li> </ul>
変状原因	<ul style="list-style-type: none"> <li>覆工コンクリートの巻厚不足。設計値の69%（平均24cm；設計36cm）</li> <li>アーチ部背面空洞（平均28cm；10～56cm）</li> <li>変質して脆弱化した周辺地山のゆるみ土圧が側方から作用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>覆工コンクリートの巻厚不足。設計値の42%（天端）</li> <li>覆工コンクリートの強度 7.5N/mm<sup>2</sup></li> <li>アーチ部背面空洞</li> <li>側方からのゆるみ土圧が作用し、側壁と天端に縦断クラックが発生。</li> <li>背面空洞内で脆弱化した地山が崩落し、空洞が拡大し上方までゆるみ域拡大し作用土圧が増大。</li> </ul>

変状の状況と原因を踏まえ、補強対策工の設計が行われた。

a)設計

- 2次元FEM弾塑性解析により、現状の変状を再現しうる作用荷重を並びに覆工コンクリートの最終耐力を求めた後、裏込め注入実施後の最終耐力を解析的に求めた。覆工耐力の安全率はコンクリート標準示方書設計編に示す部材係数1.3を採用した。
- 検討条件を表-4.1.13に示す。

表-4.1.13 解析の条件

項目	ゾーン①				ゾーン②							
	地山	凝灰角礫岩（変質帯）										
変形係数(kgf/cm <sup>2</sup> )	敷、側壁				680							
	アーチ				340							
覆工	単位体積重量(t/m <sup>3</sup> )				2.2							
	圧縮強度(kgf/cm <sup>2</sup> )				100							
	静弾性係数(kgf/cm <sup>2</sup> )				68,000							
	巻厚(cm)				天	左	右	敷	天	左	右	敷
空洞	崩積土(cm)				20				215			

- 検討結果  
 ゾーン①；裏込め注入で所要の耐力改善効果が期待できる。  
 ゾーン②；覆工耐力<現況地圧であり、覆工の補強工が必要。  
 この結果を受けて、ゾーン②の追加対策を検討した。
- 補強工  
 ゾーン②区間の補強は、裏込め注入工+内巻きコンクリート+セントル補強工（H鋼）  
 内巻きコンクリートはポリプロピレン繊維補強コンクリートとした。  
 補強断面を図-4.1.13に示す。ポリプロピレン繊維補強コンクリートの配合を表-4.1.14、試験結果を表-4.1.15に示す。コンクリートの仕様は以下のとおりである。  
 指定強度；24N/mm<sup>2</sup>、Gmax；20mm、スランプ；18cm±2.5cm、繊維混入率1%

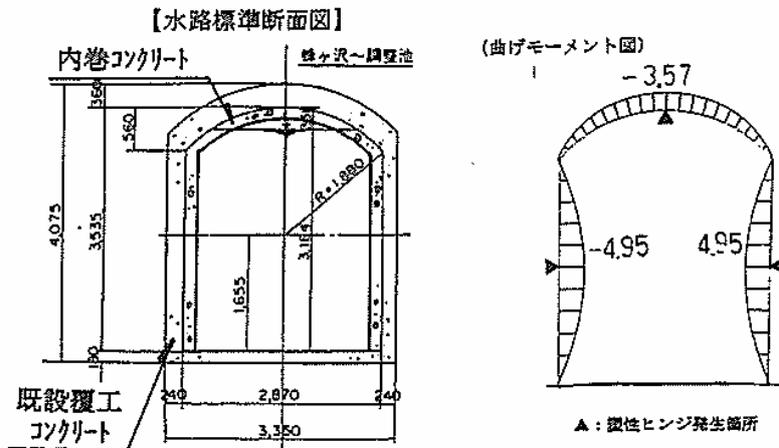


図 6 水路標準断面図，フレーム解析M図

図-4.1.13 補強断面図、解析によるモーメント図

表-4.1.14 ポリプロピレン繊維補強コンクリートの配合

S L (cm)	Air (%)	W/C (%)	s/A (%)	単位 kg/m <sup>3</sup>					混和剤	添加量
				C	W	S	G	M64EN		
18	4.5	51.5	53.6	332	171	932	816	9.1	高性能 AE減水	C*1.0

表-4.1.15 強度特性試験結果

材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ強度 (N/mm <sup>2</sup> )
7	32.3	2.691	4.614
14	35.4	3.157	5.126
28	41.0	—	—

## 2) 既設導水路トンネルの拡幅<sup>10)</sup>

新五木川発電所は、既設の発電施設をリプレースすると同時に規模の増大を図る「再開発」の一環として整備されたものである。この工事は、導水路の拡幅にTBM工法（トンネルボーリングマシン）を採用した国内最初の例である。表-4.1.16 に新五木川発電所再開発工事の概要を示す。TBM掘進に支障となる箇所はあらかじめ補強するなどして円滑な拡幅掘削を可能とした。

表-4.1.16 新五木川発電所再開発工事の概要

		五木川発電所（旧）	再開発
企業者		九州電力（株）	
運転開始		1940年10月	
諸発電	最大出力	8,300kW	15,300kW
	使用水量	11.0m <sup>3</sup> /s	30.0m <sup>3</sup> /s
	有効落差	93.5m	90.7m
主要工作物	ダム	堤高14m、堤頂長44m	既設利用
	導水路	1号導水路トンネル 馬蹄形 L=1,506m 2号導水路トンネル 馬蹄形 L=4,318m 小鶴川支水路 上部円形 L=455m	1号トンネル 拡幅 φ4.3m、L=1,509m 2号トンネル 拡幅 φ4.3m、L=4,319m 小鶴川支水路 拡幅 側壁垂直半円形 L=451m
	ヘッドタンク	鉄筋コンクリート L=38m 余水路（開渠） L=228m	撤去・新設 L=64m 既設水圧鉄管利用 開渠 L=179m 管路 144m
	水圧管路	φ2.0m、L=180m	新設
	発電所	半地下式	撤去・新設
	放水路	側壁垂直半円形、矩形 L=155m	撤去・新設 側壁垂直半円形 L=183m

### a) 既設トンネルの構造

- ・ 地質は、砂岩・粘板岩・礫岩を主体とし、部分的にチャート、固結及び未固結の溶結凝灰岩が点在。
- ・ 1号トンネルは2箇所、2号トンネルには6箇所の横坑があり、発破掘削により分割施工されている。
- ・ トンネル形状は表-4.1.14 に示すように馬蹄形で、側壁コンクリート・インバートコンクリートが全長にわたって施工されている。地質不良区間には全周巻立コンクリートが施工。その他区間は半巻立コンクリートとなっている。

b)事前調査と対策工

- ・ 断層破碎帯の位置・規模や湧水量、岩盤強度などを把握するため、既設導水路を利用して事前調査を実施
- ・ 調査は一時的な導水路断水期間中に実施した一次調査と、既設発電所廃止後、仮設準備期間中の二次調査に分けて実施。表-4.1.17 に各種調査を示す。

表-4.1.17 事前調査（一次・二次）の項目

	調査項目	入手情報	調査位置・範囲
一次調査	地質踏査	トンネルルート上の地質、断層、走向、傾斜	トンネルルート全線（地表踏査）
	岩盤調査（コア採取）	岩質・岩盤等級 支保工有無、一軸圧縮強度	トンネルルート全区間（200m 毎）
	覆工調査（コア採取）	巻厚測定、圧縮強度測定 鉄筋、鋼製支保工有無 コンクリート配合推定	トンネルルート全区間（200m 毎）
	覆工調査（シュミットハンマ）	覆工コンクリート強度推定	トンネルルート全区間（200m 毎）
	覆工調査（超音波）	覆工コンクリート強度推定	トンネルルート全区間（200m 毎）
二次調査	導水路トンネル壁面画像計測	覆工及び岩盤表面の亀裂・劣化状態	導水路全線
	電磁波レーダー探査	覆工中の鉄筋・鋼製支保工及び覆工背面の空洞の有無	既設全断面覆工区間全線
	坑内弾性波探査（屈折法）	既設トンネル周辺岩盤緩み状態、断層破碎帯の位置・規模	既設全断面覆工区間及び半巻区間の一部
	内空断面形状測定	トンネル内空断面の連続した幾何形状	半巻区間内、余掘り・崩落の大きい区間
	地質調査ボーリング	覆工背面地山地質等の目視による確認	上記調査後地山が悪いと判断された所
	覆工撤去	覆工背面地山地質等の目視による確認	上記調査後地山が悪いと判断された所

c) TBMの特徴・諸元

拡幅に用いたTBMの諸元を表-4.1.18 に示す。

表-4.1.18 TBMの諸元

項目	仕様・数量
外径 (mm)	φ 4,240
掘削外径 (mm)	φ 4,310~4,291
全長 (mm)	約 9,000
装備電動機総出力	約 850kW
スラストジャッキ	200t*1,300st*4本
メイングリッパジャッキ	200t*250st*8本
フロントグリッパジャッキ	下部 120t*140st*2本 上部 160t*250st*2本
カッタ	フェース 15.5 インチ (394mm)
カッタ回転数	7 / 3.5rpm
カッタヘッドトルク	常用 110 / 最大 165t・m
カッタ駆動電動機	132kW*4 / 8P*6台

図-4.1.14 にトンネル拡幅断面を、図-4.1.15 に坑内機械配置図を表-4.1.19 に導水路トンネル拡幅の手順を示す。

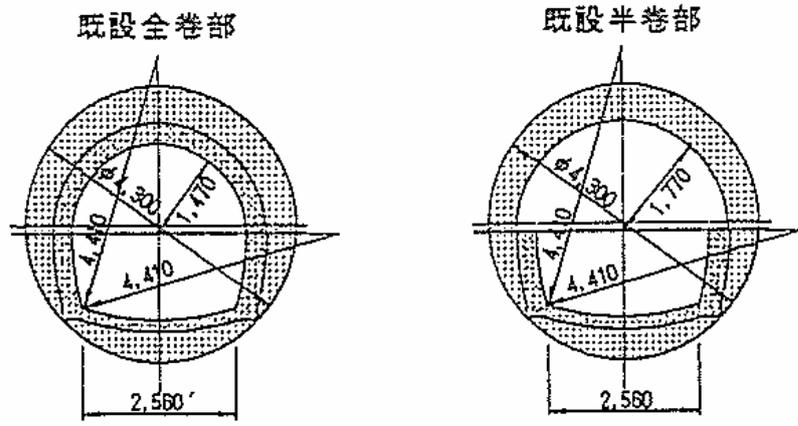


図-4 トンネル拡幅断面図 (2号)

図-4.1.14 トンネル拡幅断面

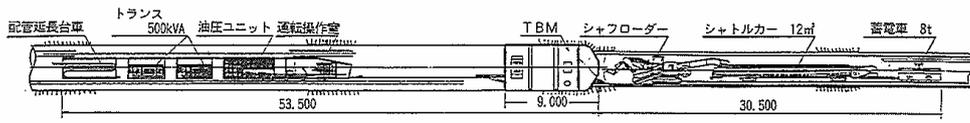


図-5 1号トンネル坑内機械配置図

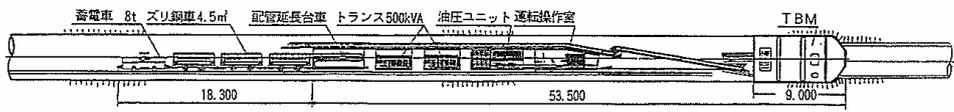


図-6 2号トンネル坑内機械配置図

図-4.1.15 1・2号導水路坑内機械配置

表-4.1.19 導水路トンネル拡幅の手順

段階	内容	摘要
Step1	1号トンネルの一部及び取水部を拡幅し、TBM 本体及び後続設備組立、トンネル内発進	
Step2	1号トンネル掘削ズリは進行方向前方に排出し、予め前方に配置したシャフローダーとシャトルカーを用いて積み込み、搬出	図-4.1.15 参照
Step3	1号トンネル掘削期間中に新設水路橋本体下部を築造、当該橋を利用して1号トンネル掘削完了後、続けて TBM 及び後続設備を2号トンネル側に移動	
Step4	TBM 本体を2号トンネル掘削用に換装し発進	図-4.1.15 参照

(2) リニューアル施工事例

表-4.1.20 に電建協（現日建連）会員各社に依頼したアンケートにより収集したリニューアル施工事例の一覧表を示す。

表-4.1.20 アンケートにより収集したリニューアル施工事例（水路トンネル）

No.	工事種類	施設名称	企業者	工事概要	掲載頁
1	補強			旧水路内にダグタイル鑄鉄管布設を行うため、支障となる旧二次覆工をアブレイシブジェット装置により撤去	370
2	補強	長者原発電所	東北水力地熱	劣化した導水路の内面にダグタイル覆工板を据付け、背面に無収縮モルタルを充填	372
3	補修	東上田発電所	中部電力	既設コンクリートをウオータージェットで切削し、PCaパネルを設置し裏込めコンクリートを充填	374
4	補強 改築	葛根田 第二発電所	東北電力	震災復旧を目的に鋼製支保工建て込み、キーストンプレート据付、背面注入、周辺地山への薬液注入実施	376
5	補修	秋元発電所	東京電力	止水グラウト、填充グラウトの実施、放水路内面モルタル塗布による粗度係数改善	378
6	補修	府中発電所	中国電力	無普請の放水路内面に肌落ち防止用の吹付コンクリート施工	380
7	補強	飽別発電所	北海水力発電	既設覆工をはつり、鋼製支保工を建て込み、再打設し、背面注入	382
8	改築	瀬戸第一発電所	中部電力	インバート、アーチ側壁打替え防水モルタルの施工 モルタル吹き付け	384
9	補修	日野谷発電所	徳島県	インバート、側壁コンクリートの打ち替え	386
10	補修	日野谷発電所	徳島県	覆工背面岩盤空洞部へのグラウト注入	388
11	補修	鬼怒川発電所	東京電力	覆工背面空洞部への裏込め注入 ロックボルト打設	390
12	補強	小屋敷第一・第二 発電所	山梨県	ASフォームによる旧覆工内面巻きたて 中小断面導水路対応覆工全断面切削機の導入	392
13	改築	広瀬発電所	イビデン（株）	設計流量確保のためにインバートを30cm掘り下げて断面を拡幅	394
14	改築	小口川第三発電所	北陸電力(株)	導水路全長 L=2,752mのうち未取替部分である1～7号トンネルの延長 L=2,199mの内張鉄管（内径1,274mm）を、施工性、耐久性に優れたFRPM管（内径1,200mm）に変更し、機能回復を図る。	396



水力発電所のリニューアルに関する事例調査

対象構造物	水路トンネル 水圧管路
工事種類	発電所関連施設(発電機基礎、その他 ( ))
発電所名称	-
企業者	
所在地	
建設時期	大正7年~12年
運開時期	

工事時期	昭和62年10月19日 ~ 昭和63年5月31日
施工者	鹿島建設(株)
工事の目的	水路トンネルの老朽化対策:ダクタイル鋳鉄管布設前の老朽化コンクリートの切断撤去
劣化要因	大正12年の建設以来、60余年が経過し、これまで数回にわたり内部に補強コンクリートを施してきたが、老朽化が著しい。
工事概要	<p>本工事は、劣化対策として全線にわたり水路内に外径3,170mmのダクタイル鋳鉄管を布設することになったが、その際に支障する二次覆工コンクリートを事前に撤去するものである。</p> <p>施工手順は、まず薬液注入で周辺地盤の改良を行い、老朽化した一次覆工コンクリートの崩落を防ぐためロックボルトを打設した後、アブレイシブジェット装置を用いて補強コンクリートを撤去する。</p>
工法選定の理由・条件等	老朽化したコンクリート部に範囲を限定して切断除去する必要がある。当初設計では、大型ウォールソーで切断することとなっていたが、正確な切断深さの設定がむずかしいことと、段取り替えなどに時間がかかり工程を確保できないことから、本工法へ変更した。

<p>工法概要</p>	<p>アブレイブジェット工法は、高速水噴射に研磨材(砂、ガーネット)を混合し、レーザービームのように収束噴射させてコンクリートや鉄骨等を切断する工法である。</p>
<p>施工概要</p>	<p>施工手順は、以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>①手順1 薬液注入で周辺地盤の改良(改良幅2m)</li> <li>②手順2 ロックボルト打設(L=2m)</li> <li>③手順3 補強コンクリート切断(4側線) (アブレイブジェット装置使用)</li> <li>④手順4 コンクリート除去(ブレーカ、ピック使用)</li> </ol>
<p>施工概要図</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="491 607 933 920"> </div> <div data-bbox="954 629 1406 887"> </div> </div> <p style="text-align: center;">図-1 補強工施工図</p> <p style="text-align: center;">図-2 補強コンクリート切断図</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div data-bbox="587 1016 778 1272"> </div> <div data-bbox="783 1003 1257 1272"> </div> </div> <p style="text-align: center;">図-3 施工状況図</p> <div data-bbox="1098 1308 1417 1592"> </div> <p style="text-align: center;">図-4 切断装置動作図</p>
<p>参考文献・資料等</p>	

水力発電所のリニューアルに関する事例調査

対象構造物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、その他（ ））
工事種類	補修・補強・改築・その他（ ）
発電所名称	長者原発電所
企業者	東北水力地熱株式会社
所在地	山形県西置賜郡小国町大字小玉川 529番地
建設時期	昭和12年
運開時期	昭和13年12月

工事時期	平成18年 8月 1日 ~ 平成18年 10月 31日
施工者	(株)熊谷組

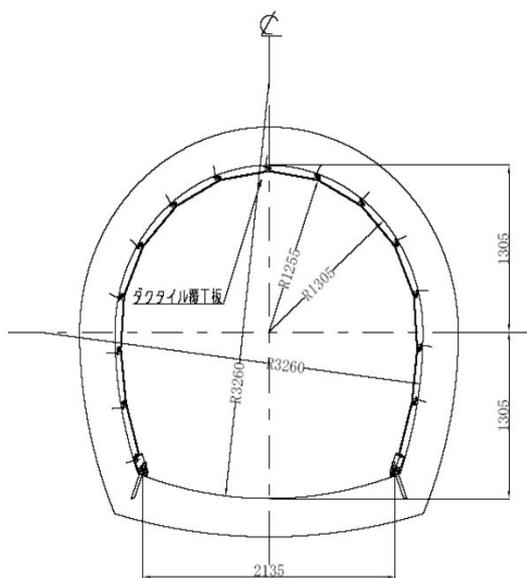
工事の目的	本導水路排水後の、覆工調査により確認された進行性クラック発生個所に内巻工を実施し、設備保全を図るものである。
-------	--

劣化要因	長者原発電所導水路は、昭和13年の通水開始以来68年が経過した設備である。この間定期的に覆工の調査を実施し、保守上必要な部分的修繕を実施してきたが、地山の変圧等による劣化が著しく進行性クラックの発生している個所を内巻工（ダクタイル覆工板工法）により補強した。
------	---

工事概要	本工事は、導水路約5kmの内、劣化の著しい個所 53.3m部分の覆工内面に形状420mm×820mm×8mmダクタイル鋳鉄製の板（以下、ダクタイル覆工板と言う。）で側壁・アーチ部分を覆い、既設覆工とダクタイル覆工板背面の隙間に無収縮モルタルを充填してダクタイル覆工板のアーチ効果により導水路を補強する。
------	---

工事数量

- |             |                           |
|-------------|---------------------------|
| (1) えん堤修繕   | えん堤越流部修繕；延長45.3m，幅8.0m    |
| (2) 導水路修繕   | 導水路内巻補強（ダクタイル覆工板）；延長53.3m |
| (3) 水槽余水路修繕 | 余水路敷きおよび側壁修繕；延長224.7m     |



導水路修繕断面図

<p>工法選定の理由・条件等</p>	<p>■条件 補強箇所が坑口より遠く（最深部約2,450m）、施工箇所が4箇所と点在しており、トンネル内断面も幅2.61m×高2.61mである。</p> <p>■工法選定理由</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・機材の搬入（索道吊上げ重量350kg）が制限されるため、人力施工が可能なこと</li> <li>・断面縮小となっても最大取水量8.35m<sup>3</sup>/sが確保されること</li> <li>・補強材により十分強度が確保されること</li> <li>・コストが低廉であること</li> <li>・断水期間45日で仮設、補強工事が施工可能なこと。</li> </ul>
<p>工法概要</p>	<p>ダクタイトイル覆工板工法の概要 ダクタイトイル覆工板工法は、劣化した既設トンネル覆工の内側にダクタイトイル鑄鉄製覆工板を1枚づつ、アンカーボルト1本で既設覆工面に固定し、既設覆工面との隙間に無収縮モルタルを充填する技術です。 充填材とダクタイトイル覆工板が一体となって、アーチ効果により既設トンネル覆工を補強する。（材質；FCD450、パネル形状；420mm×820mm×8mm、パネル重量；23kg/枚）</p> <p>覆工板が軽く施工は人力であり、トンネル軸方向に継手がない単リングモデルのためトンネル断面変化にも対応可能であることから施工性が良い。また、同一形状のパネルを使用するので複数箇所での同時施工ができ工期短縮が計れる。</p>
<p>施工概要</p>	<p>ダクタイトイル覆工板工法の施工手順は、①～⑤のとおりである。</p> <p>手順①始端側鋼製架台取付（足付部に加工した台形鋼材をインバートに樹脂アンカーで固定する）</p> <p>手順②ダクタイトイル覆工板組立（人力により覆工面に沿って、覆工板の継手部を噛合せてアンカーで固定する）</p> <p>手順③終端側鋼製架台取付</p> <p>手順④充填材止枠取付（既設覆工面にR加工したL型鋼を固定し、止枠とする）</p> <p>手順⑤充填材充填（覆工板と既設覆工面との隙間に無収縮モルタルを充填する）</p>
<p>施工概要図</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>組立状況①</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>組立状況②</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>充填材充填状況</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>施工完了</p> </div> </div>
<p>参考文献・資料等</p>	<p></p>

水力発電所のリニューアルに関する事例調査

対象構造物	(水路トンネル)、水圧管路 発電所関連施設(発電機基礎、その他( ))
工事種類	(補修)・補強・改築・その他( )
発電所名称	東上田発電所
企業者	中部電力(株)
所在地	岐阜県益田郡下呂町東上田
建設時期	
運開時期	昭和29年

工事時期	平成15年10月 1日 ~ 平成16年 3月19日
施工者	熊谷・シーテック・金子共同企業体
工事の目的	水路トンネルの老朽化に伴う修繕工事
劣化要因	昭和29年運転開始以来約50年間運用された水路トンネルは、河川からの流入土砂による磨耗、洗掘等が生じていることから、保守上必要な部分的修繕をしていたが、一部(L=71m区間)において劣化がはげしいことから、今回改修を行いこととなった。
工事概要	<p>本工事は、従来水路トンネルの覆工コンクリートの改修にあたっては、既設コンクリートをはつり、新たなコンクリートを打設していたが、今回の改修にあたり</p> <p>①通水能力を確保するため所定の断面と粗度係数を有すること。          ②導水路トンネルの断水期間を極力短縮すること。          ③地圧、水圧等の外圧に耐えうる強度を有すること。</p>

<p>工法選定の理由・条件等</p>	<p>(1) はつり工⇒ウォータージェット（静的切削方式）工法          超高压水圧によるエネルギー（振動打撃がない）を利用することで、水量と水圧の制御が可能なこと等により、旧覆工体への損傷を最小限に抑えることができる。また、噴射ノズルの揺動により、所定の切削精度を確保できる。且つ、ウォータージェット工法は劣化部をはつり、健全部を残すことから、新旧コンクリートの一体化方法として表面処理（打継ぎ面処理）に適している。</p>
<p>工 法 概 要</p>	<p>はつり工（ウォータージェット工法）          水路トンネルのアーチ部についてはロボットはつりおよび下部の根足部については、ハンドガンによる切削施工。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>ロボットタイプによるはつり</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>ハンドタイプによるはつり</p> </div> </div>
<p>施 工 概 要</p>	<p>主要施工順序は以下①～④のとおりである。          ①はつり工（ウォータージェットにて切削）          ②先受け防護工（1mはつり毎に鋼製支保工の設置）          ③PCパネルの設置          ④裏込めコンクリート打設（1スパン6m施工）</p>
<p>施 工 概 要 図</p>	<div style="display: grid; grid-template-columns: 1fr 1fr; gap: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>①はつり工</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>②先受け防護工</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>③PCパネルの設置</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>④裏込めコンクリート打設</p>  </div> </div>
<p>参考文献・資料等</p>	

水力発電所のリニューアルに関する事例調査

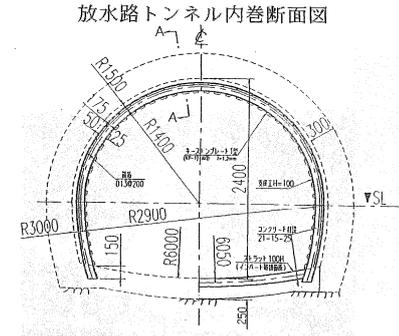
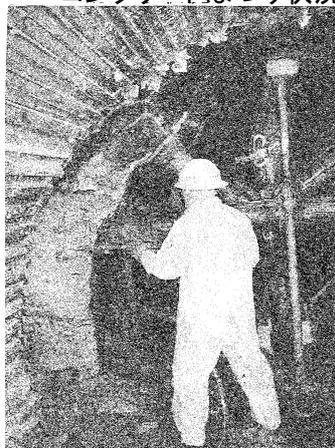
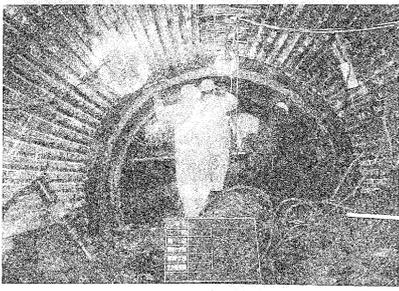
対象構造物	水路トンネル 水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、 その他（ ））
工事種類	補修 ・ 補強 ・ 改築 ・ その他（ ）
発電所名称	葛根田第二発電所
企業者	東北電力（株）
所在地	岩手県岩手郡雫石町
建設時期	
運開時期	昭和28年

工事時期	平成10年 9月 7日 ~ 平成10年 11月 5日
施工者	佐藤工業（株）

工事の目的	震災復旧
-------	------

劣化要因	<p>平成10年9月3日16時58分に発生した岩手山南西地震(M6.1)は、岩手県雫石町網張地区で震度6弱という非常に大きな揺れを観測した。この地震の影響により、葛根田第二発電所付近の水田で平均25cmの隆起(逆断層)が観測された。この断層面は、葛根田第二発電所放水路トンネルと交差している為、トンネル入口より23.0mの区間にトンネル軸方向に4~5本のクラックが、23.0~30.5mの7.5m区間では、コンクリート破壊が発生し、天端より約30m<sup>3</sup>の土砂が流れ出したほか、側壁コンクリートの押し出し25cm、トンネル軸方向の圧縮32cmが観測された。</p>
------	---

工事概要	<p>(1) 調査工 1式 放水路トンネル498m          ・ 地表踏査          ・ トンネル外観調査          ・ トンネル断面測定          ・ コンクリート強度試験</p> <p>(2) 補助工          ①水替工 1式 40t/minの湧水処理          葛根田第二発電所本体部は、建設当時から湧水が非常に多く、底部にウィーブホールを設け、放水路トンネル内に流していた。放水路トンネルの復旧にあたり、入口の前で角落しを設け水替えを実施した。湧水量は40t/分である。          ②一次補強工 16.0m 木製支保工          現状のトンネル内空と安全を確保するとともに、直上の町道陥没を防止するための補強である。使用する材料は現地加工の容易な木製支保工とした。施工範囲は、調査結果より、コンクリート破壊区間とその前後約5mとした。(17~35m、L=18m)          ③薬液注入工          放水路トンネルは、今回の地震により覆工コンクリートが破壊され、土砂や湧水がトンネル坑内に流出していた。このため、トンネル背面地山に空隙が生じていると考えられ、地表面(町道)の沈下や陥没が懸念された。また、復旧工事においては、既設コンクリートの打替えが必要であり、その際の地山崩壊の危険性があった。このため、トンネル背面の空隙充填、地盤強化、止水を目的として、薬液注入工を施工した。</p> <p>(3) 補強工 32.6m 内巻工          既設トンネル内側に鋼製支保工を建て込み、キーストンプレートを支保工に溶接しその隙間にコンクリートを打設した。</p> <p>(4) 背面注入工          トンネル補強コンクリート完了後、既設コンクリートとの隙間及び破壊個所で施工した掛け矢背面の空隙に浸透性の注入材を注入し地山との一体化を図った。</p>
------	--

<p>工法選定の理由・条件等</p>	<p>地震により停止した発電所を早期に運転再開する必要がある一方、背面地山空洞による地表面沈下、さらには坑内の不安定な状況からの二次災害を確実に防止する必要があった。 そのため、現地加工の容易な木製支保工を用いた一次補強、二次災害防止のための薬液注入などの補助工法を施工した上で、既設コンクリートの打ち替えを実施した。この内巻工法については作業の迅速性、確実性からキーストンプレートによる埋設型枠方式を採用した。</p>
<p>工法概要</p>	<p>内巻工法の概要 木製支保工による一次補強、地盤改良の注入効果及び止水効果確認後、入口より23m間は既設トンネル内側に鋼製支保工(H-100)を1.2mピッチで建て込み、13mm鉄筋200mmピッチで取り付け後キーストンプレートt=1.2mmを支保工に溶接しその隙間にコンクリート(21-15-25)を打設した。 23m~32.7mの9.7m区間は、押し出されたコンクリートをハツリながら、また、木製支保工を撤去しながら鋼製支保工を建て込み、3スパンサイクルでコンクリートを打設した。</p>
<p>施工概要</p>	<p>施工順序は以下①~⑥のとおりである。 ①地表踏査 ②水替え工 ③一次補強工 ④薬液注入工 ⑤内巻工 ⑥背面注入工</p>
<p>施工概要図</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>放水路トンネル内巻断面図</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>コンクリートはつり状況</p>  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;"> <p>支保工建込み状況</p> </div> </div>
<p>参考文献・資料等</p>	<p></p>

水力発電所のリニューアルに関する事例調査

対象構造物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、その他（水槽余水路減勢工新設））
工事種類	補修・補強・改築・その他（新設）
発電所名称	秋元発電所
企業者	東京電力（株）
所在地	福島県耶麻郡猪苗代町大字若宮字堰北地内
建設時期	昭和15年完成
運開時期	

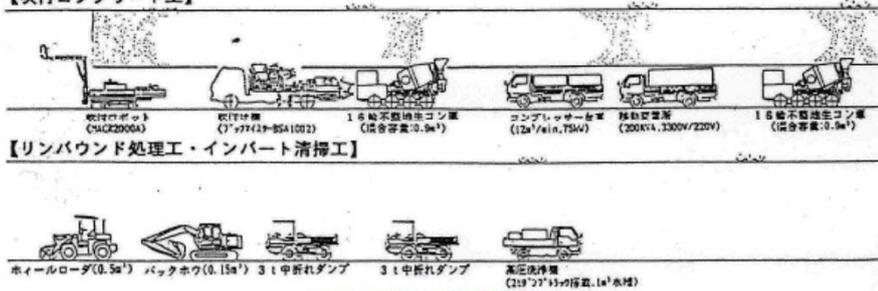
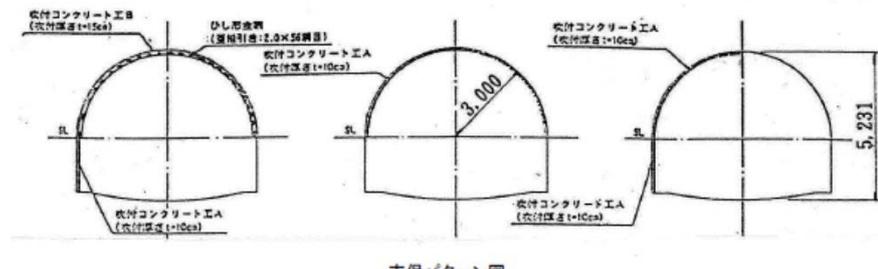
工事時期	平成8年7月10日～平成10年6月30日												
施工者	大豊建設(株)・会津土建(株)・(株)小川組・(株)相模組 共同企業体												
工事の目的	貴重な水資源の有効活用、将来の電力需要逼迫への対応策として、長瀬川系3発電所の使用水量を見直し、ピーク発電力の増強をはかる。												
劣化要因	昭和15年完成以来、この間保守上必要な部分的修繕・改築を行いながら稼働を続けてきたが、今回の発電力の増強に伴う水圧管路・発電機基礎改造工事にあわせ、圧力導水路トンネルの修繕及び放水路暗渠のライニングによる粗度係数の改良等により、水資源の有効的な活用をはかった。												
工事概要	<p>本工事は長瀬川系3発電所の再開発に伴う秋元発電所の改造工事で、広範囲にわたっての施工であった。工事内容としては、圧力導水路トンネルの修繕、水槽余水路減勢工の新設、放水路暗渠のライニング工事を2回の断水期間中に実施。又、水圧管路工事と水車・発電機工事については断水及び発電期間中に実施。特に、水車・発電機工事は#1・2号水車発電機を運転させながら#3号発電機の基礎改造を行うため、工事に伴う運転中の発電機に対する影響を回避する必要がある、十分な振動及び粉塵対策のもとに工事を実施した。</p> <p>[工事内容]</p> <p>(1) 圧力導水路トンネル修繕工事（内径=5.40m 延長=4,561m） ・ 止水・填充グラウト等 トンネル L=2,600m 区間の修繕</p> <p>(2) 水圧管路工事 ・ #3号水圧管路取り替えに伴い、2箇所固定台と7箇所の小支台の改造仮設として索道を設置</p> <p>(3) 水車・発電機工事 ・ #3号発電機取り替えに伴い、#3号水車・発電機基礎の改造</p> <p>(4) 水槽余水路減勢工工事 ・ 余水路・放水路合流部に余水路減勢工を新設。既設余水路・放水路の一部取り壊し</p> <p>(5) 放水路暗渠ライニング工事（幅=6.52m 高さ=5.21m 延長=1,007m） ・ 放水路暗渠内面のモルタル塗布（t=20mm）による粗度係数の改良</p> <p style="text-align: center;">表 秋元発電所改造に伴う比較表</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="3">秋元発電所</th> </tr> <tr> <th></th> <th>改造後</th> <th>改造前</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>最大出力</td> <td>107,500KW</td> <td>93,600KW</td> </tr> <tr> <td>最大使用水量</td> <td>76.85m<sup>3</sup>/s</td> <td>66.85m<sup>3</sup>/s</td> </tr> </tbody> </table>	秋元発電所				改造後	改造前	最大出力	107,500KW	93,600KW	最大使用水量	76.85m <sup>3</sup> /s	66.85m <sup>3</sup> /s
秋元発電所													
	改造後	改造前											
最大出力	107,500KW	93,600KW											
最大使用水量	76.85m <sup>3</sup> /s	66.85m <sup>3</sup> /s											



水力発電所のリニューアルに関する事例調査

対象構造物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、その他（ ））
工事種類	補修 補強 ・ 改築 ・ その他（ ）
発電所名称	府中発電所
企業者	中国電力(株)
所在地	広島県府中市川面町大字大迫
建設時期	昭和38年11月竣工
運開時期	

工事時期	平成 5年 12月 日 ~ 平成 6年 12月 日																
施工者	飛鳥建設(株)																
工事の目的	地山が堅固なため覆工コンクリートのない無普請区間が全長の80%程度あり、施工後30年を経過し坑内の肌落ち防止などのため修繕工事を行ったものである																
劣化要因	同上																
工事概要	<table border="0"> <tr> <td>岩盤清掃工</td> <td>: 21.97m<sup>2</sup></td> <td>ラス張工</td> <td>: 1.905m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>吹付コンクリート工A (t=10cm)</td> <td>: 11.865m<sup>2</sup></td> <td>リバウンド処理工</td> <td>: 942m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>吹付コンクリート工B (t=15cm)</td> <td>: 1.905m<sup>2</sup></td> <td>インパート清掃工</td> <td>: 1.945m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>湧水処理工</td> <td>: 780m<sup>2</sup></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>工事の特殊性としては、トンネル延長が約2,000mと長大トンネルである。標準部の断面が約25m<sup>2</sup>、トンネル中間付近に約7m<sup>2</sup>の縮小断面区間が約100mあり、坑内での使用重機に制限を受ける。当工事のネックとなる坑内へのコンクリートの供給口となる放水口開口部は、1級河川である芦田川河川敷内にあり、高水位時には、トンネル内への浸水が懸念され止水壁を必要とした。また、主要幹線道路である486号(20,000台/日)に面しており、仮設備ヤードが非常に狭い。発電所側にあった換気立杭(H=45m)を換気設備及び資機材の搬入出等に使用した。</p> <p>よって、品質の確保はもちろんのこと、特に安全に留意した施工を要求される工事であった。</p>	岩盤清掃工	: 21.97m <sup>2</sup>	ラス張工	: 1.905m <sup>2</sup>	吹付コンクリート工A (t=10cm)	: 11.865m <sup>2</sup>	リバウンド処理工	: 942m <sup>2</sup>	吹付コンクリート工B (t=15cm)	: 1.905m <sup>2</sup>	インパート清掃工	: 1.945m <sup>2</sup>	湧水処理工	: 780m <sup>2</sup>		
岩盤清掃工	: 21.97m <sup>2</sup>	ラス張工	: 1.905m <sup>2</sup>														
吹付コンクリート工A (t=10cm)	: 11.865m <sup>2</sup>	リバウンド処理工	: 942m <sup>2</sup>														
吹付コンクリート工B (t=15cm)	: 1.905m <sup>2</sup>	インパート清掃工	: 1.945m <sup>2</sup>														
湧水処理工	: 780m <sup>2</sup>																

<p>工法選定の理由・条件等</p>	
<p>工法概要</p>	
<p>施工概要</p>	<p>【岩盤清掃工】</p> <p>【湧水処理工・ラス張工】</p>  <p>高所作業車 (20-3407, 8-10) 高圧洗浄機 (218727)の搭載, 1t水櫃 バックホウ(0.15m<sup>3</sup>) 高所作業車 (20-3407, 8-10)</p>
<p>施工概要図</p>	<p>【吹付コンクリート工】</p> <p>【リンパウンド処理工・インパット清掃工】</p>  <p>吹付ロボット (YAC2000A) 吹付機 (7777) (17-8541002) 1.6輪不燃油車 (積込容量: 0.9m<sup>3</sup>) コンプレッサー車 (12m<sup>3</sup>/min, 75kW) 移動電源 (200kVA, 3300V/220V) 1.6輪不燃油車 (積込容量: 0.9m<sup>3</sup>)</p> <p>ホイールローダ(0.5m<sup>3</sup>) バックホウ(0.15m<sup>3</sup>) 3t中折れダンプ 3t中折れダンプ 高圧洗浄機 (218727)の搭載, 1t水櫃</p> <p>トンネル坑内施工機械配置図</p>  <p>吹付コンクリート工B (吹付厚さ t=10cm) ひし形液剤 (量相引値: 2.0x50質量) 吹付コンクリート工A (吹付厚さ t=10cm) 吹付コンクリート工A (吹付厚さ t=10cm) 吹付コンクリート工A (吹付厚さ t=10cm)</p> <p>3,000 5,231</p> <p>支保パターン図</p>
<p>参考文献・資料等</p>	

水力発電所のリニューアルに関する事例調査

対象構造物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、その他（ ））
工事種類	補修・補強・改築・その他（ ）
発電所名称	飽別発電所
企業者	北海水力発電(株)
所在地	北海道釧路市阿寒町飽別
建設時期	大正9年
運開時期	

工事時期	6年 7月 日 ~ 7年 3月 日
施工者	飛鳥建設(株)

工事の目的	覆工の劣化が激しく、ハクリ・ひび割れ、漏水等が顕著となったため
-------	---------------------------------

劣化要因	<p>大正9年のため経年劣化と根室沖地震の影響もあり。</p> <p>2.調査・計測</p> <p>①覆工表面変状調査……亀裂の位置、走向巾、及び剥離面積、位置 → 縦断亀裂位置から側方土圧の影響大。</p> <p>②削孔による覆工厚性状及び背面状況調査……肩～天端部の空隙、背面粘土状況、地山強度 → 部分的に背面粘土による土圧大。覆工厚が概ね10cm程度と少なく、肩から上方には空隙が残っている区間があった。</p>
------	--

工事概要	<p>施工は、下記の調査結果から、①既設覆工コンクリートを10cm削り、鋼製支保工を建込んで再打設した。 ②覆工背面補強及び側圧分散のために背面注入を行った。</p> <p style="text-align: center;">&lt; 施 工 手 順 &gt;</p> <div style="text-align: center;"> <table border="1" style="margin: 0 auto;"> <tr><td>① 覆工背面充填注入</td></tr> <tr><td>② 覆工背面地山補強注入</td></tr> <tr><td>③ 覆工切削工</td></tr> <tr><td>④ 切削ガラ処分</td></tr> <tr><td>⑤ 鋼材建込</td></tr> <tr><td>⑥ 補強鉄筋組立</td></tr> <tr><td>⑦ 型枠組立</td></tr> <tr><td>⑧ 打設</td></tr> <tr><td>⑨ 養生・脱型・後片付け</td></tr> </table> </div>	① 覆工背面充填注入	② 覆工背面地山補強注入	③ 覆工切削工	④ 切削ガラ処分	⑤ 鋼材建込	⑥ 補強鉄筋組立	⑦ 型枠組立	⑧ 打設	⑨ 養生・脱型・後片付け
① 覆工背面充填注入										
② 覆工背面地山補強注入										
③ 覆工切削工										
④ 切削ガラ処分										
⑤ 鋼材建込										
⑥ 補強鉄筋組立										
⑦ 型枠組立										
⑧ 打設										
⑨ 養生・脱型・後片付け										

<p>工法選定の理由・条件等</p>	
<p>工法概要</p>	
<p>施工概要</p>	
<p>施工概要図</p>	<p>施工標準断面図</p>
<p>参考文献・資料等</p>	

水力発電所のリニューアルに関する事例調査

対象構造物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、その他（ ））
工事種類	補修・補強 <u>改築</u> ・その他（ ）
発電所名称	瀬戸第1発電所
企業者	中部電力(株)
所在地	岐阜県益田郡下呂町地内
建設時期	大正13年
運開時期	

工事時期	8年 10月 日 ~ 9年 12月 日
施工者	飛鳥建設(株)
工事の目的	運開より約70年経過し老朽化や一部天端崩落があり、部分改修を行った
劣化要因	同上
工事概要	<p>2. 工事内容</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 構造物内容 <ul style="list-style-type: none"> <li>水路延長 L=7,752.561m 開水路（1号～2号、茂谷）L= 643.553m</li> <li>トンネル（1号～8号） L=7,109.008m</li> <li>仕上り断面積 A=18.686m<sup>2</sup></li> </ul> </li> <li>・ 補修内容 <ul style="list-style-type: none"> <li>①インバート補修 インバート全面打替え L=1,714m</li> <li>②アーチ・側壁補修 アーチ・側壁コンクリート打替え L=1,780m</li> <li>③表面補修 L=13,296m<sup>2</sup> <ul style="list-style-type: none"> <li>③-1 防水モルタル 側壁部に防水モルタル</li> <li>③-2 防水モルタル 劣化部のみ防水モルタルで補修</li> <li>③-3 モルタル吹付け仕上げ 側壁部5cmハツリ</li> <li>③-4 アーチカウン部モルタル吹付け 高圧洗浄モルタル吹付け</li> </ul> </li> <li>④その他 <ul style="list-style-type: none"> <li>開渠部蓋渠化（現場打ちコンクリート）</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>

<p>工法選定の理由・条件等</p>	
<p>工 法 概 要</p>	<p>3.施工方法          掘 削 発破・機械掘削(油圧ブレーカ0.4m<sup>3</sup>)          ずり出し タイヤ工法(不整地走行車・2tダンプ)          レール工法(鋼車3.7m<sup>3</sup>・6.0m<sup>3</sup>)          吹 付 吹付けモルタル          二次覆工 スライディングセントル(L=10.5m)          コンクリートポンプ・アジテーターカー(6m<sup>3</sup>)</p>
<p>施 工 概 要</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>
<p>施 工 概 要 図</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>新 り 状 況</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>新 り 完 了</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>完 成</p> </div>
<p>参考文献・資料等</p>	

水力発電所のリニューアルに関する事例調査

対象構造物	(水路トンネル)、水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、その他（ ））
工事種類	(補修)・補強・改築・その他（ ）
発電所名称	日野谷発電所
企業者	徳島県企業局
所在地	徳島県那賀郡上那賀町明神
建設時期	
運開時期	

工事時期	平成6年12月～平成7年3月、平成7年12月～平成8年3月、 平成8年12月～平成9年3月
施工者	西松建設株式会社
工事の目的	取水口とダムを結ぶ水路トンネル（L=2559.7m）の側壁補修コンクリート 工事である。
劣化要因	
工事概要	<p>取水口（古屋川）と長安口ダムを結ぶ水路トンネル（L=2559.7m）の側壁補修コンクリート工事である。工事の施工内容は、インバート・コンクリートのみ施工済みの既設のトンネル区間について、インバート・コンクリートの左右端部を取壊して撤去し、その箇所に高さ1.3m、幅0.2mの基本断面の側壁コンクリートを新設する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・平成6年12月～平成7年3月              施工延長：L=578.2m              掘削・コンクリート取壊し：V=304m<sup>3</sup>              インバート・コンクリート：V=255m<sup>3</sup>              側壁コンクリート：V=125m<sup>3</sup>              仮設工：一式</li> <li>・平成7年12月～平成8年3月              施工延長：L=700m              インバート・コンクリート取壊し：V=137m<sup>3</sup>              インバート・コンクリート：V=104m<sup>3</sup>              側壁コンクリート：V=167m<sup>3</sup>              仮設工：一式</li> <li>・平成8年11月～平成9年3月              コンクリート切断：L=615.0m              掘削：V=14.1m<sup>3</sup>              コンクリート取壊し：V=44.7m<sup>3</sup>              残土処理（軟岩Ⅱ）：V=14.1m<sup>3</sup>              残土処理（コンクリートガラ）：V=44.7m<sup>3</sup>              コンクリート工：V=344.5m<sup>3</sup>              型枠工：A=988m<sup>2</sup></li> </ul>

<p>工法選定の理由・条件等</p>	
<p>工 法 概 要</p>	
<p>施 工 概 要</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・掘削方法：バックホウ（0.45m<sup>3</sup>）</li> <li>・地質：軟岩、コンクリート</li> <li>・ずり運搬法：タイヤ方式</li> <li>・諸設備：電力設備、換気設備、排水設備、ずりだし設備、コンクリート打設設備、運搬設備、濁水処理設備（機械処理方式）</li> </ul>
<p>施 工 概 要 図</p>	
<p>参考文献・資料等</p>	<p>なし</p>

水力発電所のリニューアルに関する事例調査

対象構造物	(水路トンネル)、水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、その他（ ））
工事種類	(補修)・補強・改築・その他（ ）
発電所名称	日野谷発電所
企業者	徳島県企業局
所在地	徳島県那賀郡上那賀町菅谷
建設時期	
運開時期	

工事時期	平成15年11月～平成16年3月
施工者	西松建設株式会社
工事の目的	長安ロダムから日野谷発電所に至る本正木谷導水路からの漏水対策として補修を行った。
劣化要因	覆工コンクリート背面に存在する周辺岩盤の空洞部からの漏水
工事概要	<p>正木谷導水路からの漏水対策として、覆工コンクリート背面に存在する周辺岩盤の空洞部をグラウト工法により補修を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 施工延長：55.3m</li> <li>・ トンネル内径：4,700mm</li> <li>・ ボーリング工 <ul style="list-style-type: none"> <li>コンソリデーショングラウチング：418m</li> <li>カーテングラウチング：325m</li> <li>コンソリデーショングラウチング検査孔：16m</li> <li>カーテングラウチング検査孔：20m</li> </ul> </li> <li>・ グラウト工 <ul style="list-style-type: none"> <li>セメントペースト：504時間</li> <li>セメントベントナイト：3.6時間</li> <li>薬液：5.3m<sup>3</sup></li> </ul> </li> </ul>

<p>工法選定の理由・条件等</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 高圧グラウト 緩んだ岩盤を補強・改良してトンネルからの漏水を抑制し、内圧の岩盤負担を向上させる。</li> <li>・ カーテングラウト 近接する貯水池からの浸透水を止水するためやサージタンクや鉄管との境界部に行い、水路やサージタンクよりの浸透水を止水する。</li> </ul>
<p>工 法 概 要</p>	
<p>施 工 概 要</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ コンソリデーショングラウト（高圧グラウト） せん孔（<math>\phi 46\text{mm}</math>）は原則としてロータリー式ボーリング・マシンを用いるが、地質条件によってはパーカッション・ボーリング・マシンを使用した。グラウト孔は1断面あたり8孔、せん孔長は4mとした。また、日野谷発電所臼ヶ谷付近でのグラウト工事の実践を参考にして、最大注入圧力を6kgf/cm<sup>2</sup>とし、注入材（グラウト）の配合は6種類用意し、ルジオン値を4段階に分類し、単位時間当たりの注入量は実績から0.25L/分/mとし、だめ押し時間は20分とした。水押し試験は原則として注入圧力2及び4kgf/cm<sup>2</sup>の注入量を測定して、換算ルジオン値を求めた。</li> <li>・ カーテングラウト せん孔方法はコンソリデーショングラウトと同様とし、1断面あたり16本、せん孔長は10m（2ステージ）、最大注入圧力は、第1ステージでは6kgf/cm<sup>2</sup>、第2ステージでは9kgf/cm<sup>2</sup>とした。 グラウトの配合はコンソリデーショングラウトと同様とし、注入開始時の配合は原則としてW:C=10:1とし、注入終了時の条件はコンソリデーショングラウトと同様とした。 水押し試験では、第1ステージではコンソリデーショングラウトと同じ2および4kgf/cm<sup>2</sup>、第2ステージでは3および6kgf/cm<sup>2</sup>における注入量を測定して、換算ルジオン値を求めた。</li> </ul>
<p>施 工 概 要 図</p>	
<p>参考文献・資料等</p>	

水力発電所のリニューアルに関する事例調査

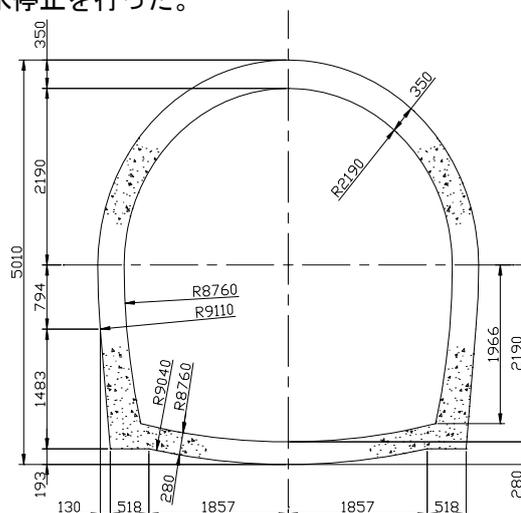
対象構造物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、その他（ ））
工事種類	補修・補強・改築・その他（ ）
発電所名称	鬼怒川発電所
企業者	東京電力（株）
所在地	栃木県塩谷郡藤原町大字滝地先
建設時期	昭和38年竣工
運開時期	

工事時期	2004年10月21日～2005年3月23日
施工者	(株)安藤ハザマ

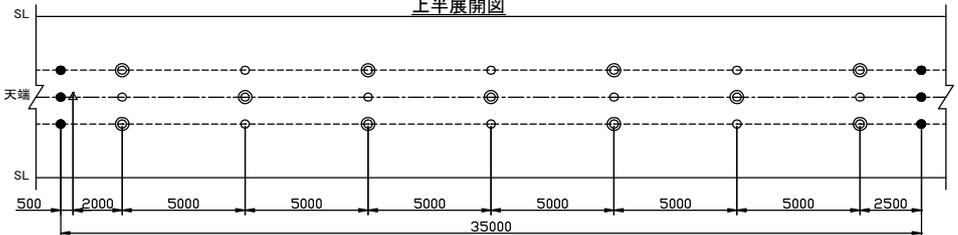
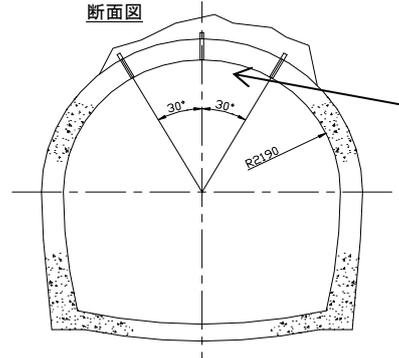
工事の目的	導水路トンネルの長期的な安全性確保
-------	-------------------

劣化要因	覆工の背面空洞の存在にともなう周辺地山の緩みの拡大と、覆工に作用する荷重の増加。
------	--

工事概要	<p>鬼怒川発電所新水路（延長L=4,159m 内空断面A=27m<sup>2</sup>）の覆工背面空洞部に、恒久的な安全性を確保するための裏込注入を実施した。空洞厚は平均10cmであるが、30cm程度のもも見られた。トンネル延長あたりの裏込量は1.0m<sup>3</sup>/m程度であり、ひび割れの程度と湧水量に応じて以下の3種類の材料を適用した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・発泡ウレタン（12倍発泡）</li> <li>・可塑性グラウト</li> <li>・CBグラウト</li> </ul> <p>坑内の湧水は多いところで2.0m<sup>3</sup>/min、トンネル全体の湧水量は10m<sup>3</sup>/minであった。この湧水は全量をポンプにて河川に強制排水した。</p> <p>覆工の劣化が著しい区間が延長290m程度あり、幅5mm程度の縦断方向ひび割れ、遊離石灰の析出、鋼製支保工からの赤サビの漏出等が生じていた。この区間については電磁波レーダーによる空洞調査を実施するとともに、補強のためのロックボルトを施工した。</p> <p>工事にあたり、約5ヶ月の取水停止を行った。</p> <p>主要工事数量</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・注入孔設置工 : 1824 本</li> <li>・CBグラウト : 1285.5m<sup>3</sup></li> <li>・可塑性グラウト : 1483.1m<sup>3</sup></li> <li>・発泡ウレタン : 191.1m<sup>3</sup></li> <li>・ロックボルト : 171本 (SD345 D25 L=3.0m)</li> </ul>
------	---



標準断面図

<p>工法選定の理由・条件等</p>	<p>3種類の裏込め材料のうち最も安価なものはCBグラウトであるが、ひび割れ幅が大きい箇所ではひび割れからのリークが、湧水が多い箇所では材料の希釈または流出が生じる。湧水量とひび割れ幅に応じて以下のように使用区分を設定した。</p> <p>①湧水量10L/min未満かつヘアークラック程度のひび割れ：CBグラウト          ②湧水量10～100L/minまたは幅のあるひび割れ：可塑性グラウト          ③湧水量100L/min以上：発泡ウレタン</p>
<p>工法概要</p>	<p>適用した裏込め材料の概要を以下に述べる。いずれの裏込め材料についても、目標強度は<math>\sigma 28=1\text{N}/\text{mm}^2</math>以上とした。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・CBグラウト セメントベントナイトミルクである。</li> <li>・発泡ウレタン</li> </ul> <p>裏込め・空洞充填用の高発泡・高強度ウレタンである。<math>\sigma 28=1\text{N}/\text{mm}^2</math>を満たすものとして発泡倍率が12倍のものを用いた。</p>
<p>施工概要</p>	<p>裏込め注入の施工区間を35m単位に区切り、区切りとなる箇所にはストッパーグラウトとして可塑性グラウトを注入した。</p> <p>注入孔は延長方向に5m間隔とし、CBグラウト適用区間では1本・2本の千鳥配置、可塑性グラウトおよび発泡ウレタンについては3本の配置とした。</p>
<p>施工概要図</p>	<div style="text-align: center;"> <p>上半展開図</p>  </div> <div style="margin-top: 20px;"> <p>断面図</p>  <p>注入管φ40、削孔径φ56          CBグラウトでは、1孔、2孔の千鳥配置。可塑性グラウトおよび発泡ウレタンでは3孔。</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>展開図の凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○：注入孔（CBグラウト、可塑性グラウト、発泡ウレタン）</li> <li>◎：注入孔（可塑性グラウト、発泡ウレタン）</li> <li>△：エア抜き孔</li> <li>●：ストッパーグラウト（可塑性グラウト）</li> </ul> </div>
<p>参考文献・資料等</p>	

水力発電所のリニューアルに関する事例調査

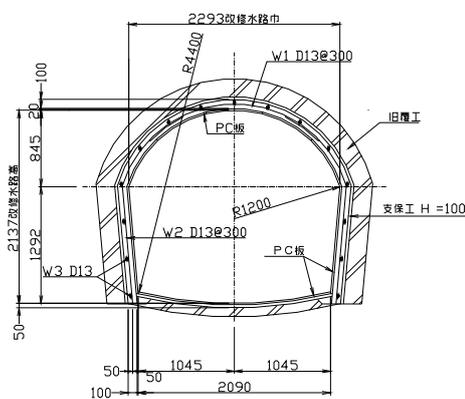
対象構造物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、その他（ ））
工事種類	補修・補強・改築・その他（ ）
発電所名称	小屋敷第一・第二発電所
企業者	山梨県企業局
所在地	山梨県甲州市塩山小屋敷
建設時期	大正15年
運開時期	大正15年

工事時期	平成11年12月～平成13年2月
施工者	清水建設(株)・長田組土木(株)・井尻工業(株)共同企業体

工事の目的	導水路トンネルの老朽化に伴う、導水路補修工事
-------	------------------------

劣化要因	<p>小屋敷第一及び第二発電所は、大正15年に建設された発電所で、建設以来74年経過しており、昭和56年に導水路の補修を実施したが、内巻コンクリートにより通水断面が確保できなくなり、発電量の低下を招いた。</p> <p>その後、内巻コンクリートの劣化が顕著になってきたことから、導水路上部の空洞充填、導水路の劣化対策及び通水断面の回復を目的とした改修工事を実施することとなった。</p>
------	---

工事概要	<p>本工事は、小屋敷第一・第二発電所のうち、小屋敷第一トンネルにおいて、昭和56年に実施した内巻コンクリートを全断面切削し、耐久性に優れ、粗度係数も低い高耐久性プレキャスト板を内張りする工事である。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>水路トンネル改修 仕上り断面4.5㎡（馬蹄形） 内空2.0m 延長872m 内巻覆工を17cm切削し、PC板を埋設型枠として鉄筋コンクリートによる補強を行い内巻覆工厚20cmを15cmとし、通水量を増大させる。</li> <li>計画通水量6.4m<sup>3</sup>（現状5.0m<sup>3</sup>）</li> </ul>
------	---



第一導水路改修標準断面図



補修前



補修後

<p>工法選定の理由・条件等</p>	<p>本工事を実施するにあたり導水路トンネルは、以下の問題点があった。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・土被りが小さい箇所が存在しトンネル断面切削時における地表面への影響が大きく、落盤防止等の安全性を確保する必要があった</li> <li>・県道部下および民家の下を通過するため地上に影響を及ぼさないように留意する必要があったこと</li> <li>・工期的に切削工事と覆工補強工事を平行して行なえる必要があったこと</li> </ul> <p>これらを解決するために、覆工全断面切削機を開発・実用化し、PC板としてASフォームを採用した。</p>
<p>工法概要</p>	<p>●中小断面導水路トンネル対応覆工全断面切削機</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 先端に円筒形のドラムを持つブームが、時計の針のように本体を中心に旋回し、覆工壁面を一定の厚みで高精度に切削することが可能</li> <li>2. 切削する際の反力を既存覆工コンクリートから取る構造のため、反力を自重に頼る構造の機種に比べ重量が約半分(10ton程度)。また、2ton程度に分割可能なことから大型揚重機等の使用が困難な箇所への搬入が可能である。</li> <li>3. 切削スリの搬出が進行方向前方に出す形状であるため、後方では切削と並行して高耐久性PC板(ASフォーム)施工が可能である。</li> <li>4. ブームの旋回と伸縮を組み合わせることにより、多様な切削形状に追従することが可能である。</li> </ol> <p>●ASフォーム</p> <p>ビニルエステル樹脂系レジンコンクリートと種石により構成される高耐久性プレキャストパネルで、耐酸性、耐久性(磨耗・塩害・中性化・凍害等)、水理特性に優れているといった特長を有する。</p>
<p>施工概要</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>①準備工</li> <li>②空洞充填工</li> <li>③切削工</li> <li>④支保工・鉄筋工</li> <li>⑤PC板設置工</li> <li>⑥仮設撤去・現地復旧工</li> </ol> <p>※③④は、並行作業</p>
<p>施工概要図</p>	
<p>参考文献・資料等</p>	

水力発電所のリニューアルに関する事例調査

対象構造物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、その他（ ））
工事種類	補修・補強・改築・その他（拡幅）
発電所名称	広瀬発電所
企業者	イビデン(株)
所在地	岐阜県揖斐郡揖斐川町
建設時期	
運開時期	大正14年5月1日

工事時期	平成23年10月～平成24年3月
施工者	(株)熊谷組

工事の目的	断面拡幅、覆工補修（背面空洞注入、断面修復）
劣化要因	水路底盤の不陸による堰上げや粗度の悪化、隧道落盤防止などの老朽化対策が課題であった。 最も大きな原因としては、建設時において、トンネル建設技術が未成熟であったことによる構造物としての不具合を抱えていたことによるものと考えられる。例えば、覆工背面の空洞、コンクリートの打継不良、ジャンカなど。 上記とは別に経年に変状が進行したものもある。例えば、インバートの洗掘、摩耗であるが、経年100年経過しており、中間の取水口からの砂礫等の混入により表面が洗掘、摩耗を受けて表面粗度が低下している。

工事概要	<p>■工事数量</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ロックボルト工 16,400本</li> <li>・トンネル掘削工 4,100m</li> <li>・インバート工 4,100m</li> <li>・空洞充填工 1,000m<sup>3</sup></li> <li>・断面修復工 57箇所</li> <li>・堆砂除去工 10m<sup>3</sup></li> <li>・浅又水路橋，さがと水路橋補修工1式</li> <li>・広瀬水槽補修工 1式</li> <li>・浅又第二沈砂池補修工 1式</li> </ul> <p>■工程</p> <p>坑内施工可能期間は断水期間の平成23年10月1日から平成24年3月31日までの6ヶ月である。 平成23年11月2日から掘削を開始し、約3ヶ月後の平成24年1月31日に掘削を完了した。 その後、平成24年2月6日から3月2日までの1ヶ月間でインバート工中央部コンクリートの打設を完了し、続いて坑内設備撤去、水槽内の仮設備撤去を行い、平成24年3月22日には通水準備を完了した。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>主要工種</th> <th>数量</th> <th>8月</th> <th>9月</th> <th>10月</th> <th>11月</th> <th>12月</th> <th>1月</th> <th>2月</th> <th>3月</th> <th>4月</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>発電停止期間</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="6">■</td> <td></td> </tr> <tr> <td>仮設備</td> <td>1式</td> <td colspan="3">■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>■</td> </tr> <tr> <td>ロックボルト工</td> <td>16,400本</td> <td></td> <td></td> <td colspan="2">■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>空洞充填工</td> <td>1,000m<sup>3</sup></td> <td></td> <td></td> <td colspan="2">■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>インバート掘削工</td> <td>4,100m</td> <td></td> <td></td> <td colspan="5">■</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>インバートコンクリート工</td> <td>4,100m</td> <td></td> <td></td> <td colspan="5">■</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	主要工種	数量	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	発電停止期間				■							仮設備	1式	■								■	ロックボルト工	16,400本			■							空洞充填工	1,000m <sup>3</sup>			■							インバート掘削工	4,100m			■							インバートコンクリート工	4,100m			■						
主要工種	数量	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月																																																																				
発電停止期間				■																																																																										
仮設備	1式	■								■																																																																				
ロックボルト工	16,400本			■																																																																										
空洞充填工	1,000m <sup>3</sup>			■																																																																										
インバート掘削工	4,100m			■																																																																										
インバートコンクリート工	4,100m			■																																																																										

<p>工法選定の理由・条件等</p>	
<p>工法概要</p>	
<p>施工概要</p>	<p>当工事ではこれまでの水路表面の平滑化による粗度の改良（覆工コンクリートなどの機能修復・回復）に留まらず、新たにインバート掘り下げによる通水断面の拡大（機能向上）を実施した。      これに加え、老朽化対策として、空洞充填及びロックボルトの施工による構造耐力向上も実施した。      通水断面拡大の工法としては、広瀬第3隧道全長5,256mの内、4,100m区間のトンネル底盤の掘削・拡幅を小型自由断面掘削機（ミゼットマイナー）を使用した。既設発電所の導水路トンネルの拡幅としては国内初の試みである。      工程確保のため、両坑口2セットの昼夜作業とした。      平面的な作業配置は、トンネルの中心から空洞充填工2パーティ、その両側でジャンボによるロックボルト工、その両側でミゼットマイナーによる掘削作業、その後ろで1次インバートコンクリートの打設、といった並行作業を進めた。ロックボルト等資材搬入計画を十分に行い、作業間調整を密に行うことにより工程を確保した。</p>
<p>施工概要図</p>	
<p>参考文献・資料等</p>	<p>熊谷組技術研究報告No.71（2012）「既設導水路トンネル改修工事における通水断面の拡大 ―イビデン広瀬発電所広瀬第3隧道改修工事施工報告―」</p>

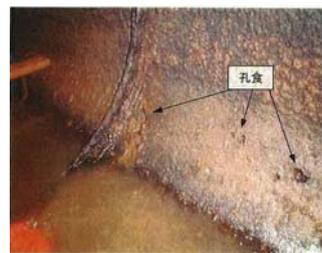
水力発電所のリニューアルに関する事例調査

対象構造物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、その他（
工事種類	補修・補強・改築 <u>その他（内張管取替</u>
発電所名称	小口川第三発電所
企業者	北陸電力株式会社
所在地	富山県富山市水須
建設時期	昭和5年
運開時期	昭和6年11月

工事時期	平成24年6月～平成26年12月（冬期は休工）
施工者	株式会社大林組・栗本鐵工所 共同企業体
工事の目的	導水路内の内張鉄管の老朽・劣化が進行したため、耐久性に優れたFRPM管（強

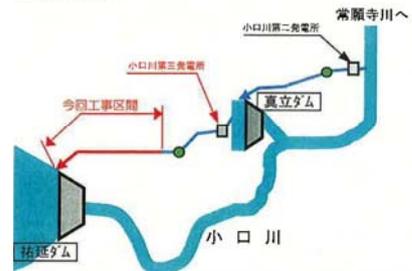
劣化要因

昭和6年11月より運転を開始し、約80年が経過している。経年により、内張鉄管の腐食が進行している。



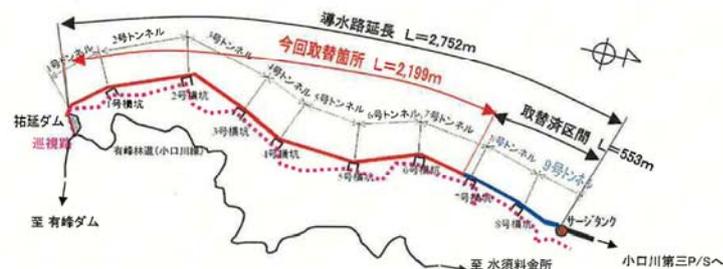
導水路全長L=2,752mのうち、老朽・劣化による損傷が著しい、未取替部分である1～7号トンネル内張鉄管延長L=2,199mの取替工事である。取替は内張鉄管（内径1,274mm）を施工性、耐久性に優れたFRPM管（内径1,200mm）に

【水路系統図】

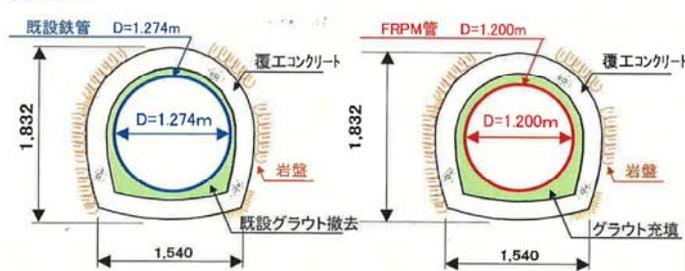


工事概要

【水路平面図】



【水路断面】現況



工法選定の理由・条件等	
工 法 概 要	
施 工 概 要	<p>内張鉄管取替工事の概要は以下の通りである。</p> <p>①横坑拡幅および交点部拡幅 既設の横坑を交点部の掘削、FRPM管設置作業の施工性確保のために最小限の拡幅をする。</p> <p>②既設内張管撤去および裏込材撤去 ウォールソーマシンおよびガス（人力）で既設鉄管を切断撤去し、人力で裏込モルタルを研る。撤去した管および研りガラはバッテリー機関車で坑外に搬出する。</p> <p>③湧水・排水処理 既設覆工コンクリートからの湧水を集水材、排水材で坑外へ導く。</p> <p>④FRPM管・鋼管据付 FRPM管据付はパイプインパイプ工法で行う。この工法はかご台車で既設覆工コンクリート水路内に管を運搬、仮設置した後、ワイヤーロープとレバーブロックにて引き込み、順次接続していく工法である。FRPM管と横坑交点マンホールとの取合い部は鋼管で接続する。</p> <p>⑤裏込モルタル充填 FRPM管と覆工コンクリートの隙間に裏込モルタルを充填する。裏込モルタルの充填は坑外（祐延ダム天端右岸）に設置したプラントから、導水路内まで長距離圧送し、FRPM管に予め取付けているグラウトホールより注入する。充填完了後、継目試験を行い水密性を確認する。</p> <p>⑥交点部閉塞 交点部に撤去したマンホールを設置し、横坑交点部をコンクリートで閉塞する。</p>
施 工 概 要 図	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>裏込材撤去</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>FRPM管布設</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>裏込材充填</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>交点部マンホール・鋼管布設</p> </div> </div>
参考文献・資料等	小口川第三発電所 導水路改良工事の概要 「電力土木 2015 1月号」

<参考文献>

- 1) 御牧陽一編著：土木学会編新体系土木工学 93、エネルギー施設（I）水力発電・送変電、技報堂出版、1980年11月
- 2) 資源エネルギー庁：ホームページ <http://www.enecho.meti.go.jp/hydraulic/index.html>
- 3) (社) 土木学会：トンネルの変状メカニズム、平成15年9月
- 4) (社) 土木学会：トンネルの維持管理、平成17年7月
- 5) JTA 保守管理委員会：トンネルの保守・維持管理（8）、トンネルと地下、pp.69-76、1994年8月
- 6) (社) 土木学会：トンネルライブラリー、第14号トンネルの維持管理、平成17年7月
- 7) (社) 日本道路協会道路：トンネル維持管理便覧、平成5年11月
- 8) 中村英孝他：打音法によるトンネル覆工の健全度評価のための現地実験、第56回土木学会年次学術講演会 CS6-027、pp.308-309、2001.10
- 9) 鬼怒川発電所水路トンネル変状区間の補強対策工の設計と施工、電力土木、No.289、2000年9月
- 10) TBMによる既設導水路トンネルの拡幅施工、電力土木、No.263、1996年5月

## 4.2 水圧管路

### 4.2.1 水圧管路の現状<sup>1)</sup>

水力発電所には明治・大正時代に建設されたものも多く、延命化のために様々な改修が行われている。水圧管路に関しても改修事例は多く、管路部では取替えや補強、基礎部では支台のクラック補修・補強等や管路敷きコンクリートの打替が行われている。しかし、管路部における取替えや補強を行うためには、大規模な仮設工事が必要となるため、改修工事費削減の妨げになっていた。

したがって、近年においては新たな補強材料や作業の機械化（無人化）の開発が進められてきた。また、管内部点検においても遠隔操作による無人点検ロボットの開発が進められてきた。

### 4.2.2 水圧管路リニューアルの目的<sup>2)</sup>

水圧管は、取水した流水で落差と水量により得られた流速と質量をエネルギーに変えるため、ヘッドタンクまたはサージタンクから発電所までの水の通り道として設置される管路であり、発電出力のために重要な役割を担う設備である。したがって、水は急斜面を水圧管によって導かれ、管路には大変高い水圧が加わるため、管材には鋼鉄など頑健な素材を用いる必要がある。また、鉄道や道路の近傍に設置されている水圧管路もあり、水圧管路設備に異常が発生した場合は社会的影響が大きくなるため、その維持管理には十分に留意する必要がある。

なお、発電用水力設備に関する技術基準を定める省令（平成9年3月27日 通商産業省令第50号、最終改正：平成21年3月16日 経済産業省令第14号）第32条によると、水圧管路は次に示す事項により施設しなければならないとある。

（水圧管路）

#### 第三十一条

水圧管路は、次の各号により施設しなければならない。

一 次の表の上欄に掲げる形式の水圧管路にあつては、それぞれ同表に掲げる荷重による応力及びこれらの荷重のうち地震力以外の荷重による応力は、使用する材料ごとにそれぞれの許容応力を超えないこと。

水圧管路の種類	荷重
露出形式	静水圧、水撃圧及びサージングによる上昇水圧の合成最大水圧、管の自重、温度荷重、外圧、管内水の重量、雪荷重、地震力、風荷重並びに管内の流水による力
岩盤埋設形式	静水圧、水撃圧及びサージングによる上昇水圧の合成最大水圧、温度荷重並びに外圧
土中埋設形式	静水圧、水撃圧及びサージングによる上昇水圧の合成最大水圧、土圧、載荷重、温度荷重、外圧、管内水の重量並びに雪荷重

二 管胴本体は、振動、座屈及び腐食に対し安全であること。

三 ヘッドタンク又はサージタンク（これらが無い場合は、取水設備）の水位が最低の場合における最低動水こう配線以下に位置すること。

四 危険な漏水がないこと。

五 アンカーブロックは、次によること。

イ 管胴本体を確実に固定するものであること。

ロ アンカーブロックは、自重、管胴本体及びその附属設備並びに管内の水の重量、管内の流水による力、漸縮管に作用する水圧による力、地震力、載荷重、雪荷重、風荷重並びに温度荷重に対し安定であり、かつ、これらの荷重による応力及びこれらの荷重のうち地震力以外の荷重による応力は、使用する材料ごとにそれぞれの許容応力を超えないこと。

六 支台は、次によること。

イ 支台は、自重、管胴本体及びその附属設備並びに管内の水の重量、地震力、載荷重、雪荷重並びに風荷重に対し安定であり、かつ、これらの荷重による応力及びこれらの荷重のうち地震力以外の荷重による応力は、使用する材料ごとにそれぞれの許容応力を超えないこと。

ロ 支台の支承部は、管胴本体の伸縮の際に管胴本体が安全かつ円滑に移動できる構造であること。

上記のように水圧管路の安定等が省令で定められている。

#### 4.2.3 水圧管路のリニューアル技術<sup>1) 2) 3)</sup>

水圧管路設備は、一般に急傾地に設置されているので経年による水圧鉄管の板厚減少が顕在化した場合、従来は鉄管取替や鋼製リングによる補強を行っていたが、補修工事費縮減の観点から炭素繊維を鉄管に巻付けて補強することを考え、実証試験において炭素繊維補強後に行ったひずみ計測の結果、ほぼ期待どおりの補強効果が得られたという報告がある。

また、急勾配かつ円形断面であることに加え、ケレン作業時に発生する粉塵により作業環境が悪化するため、労働災害の防止に多大な労力と費用を費やしてきた現状を踏まえ、水圧鉄管内面の旧塗膜除去作業の機械化（無人化）が開発され、採用となった事例もある。

なお、管内部の健全性を確認するための点検作業においても、運搬車両を必要としない小型軽量の無人点検ロボットを遠隔操作することにより、急勾配の管内部情報をリアルタイムに外部モニターで確認可能としたシステムも開発されている。